

ПРОМРЫБОЛОВСТВО

УДК 639.2.061

О.Н. Кручинин, М.А. Мизюркин, Е.А. Захаров*Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4**ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ ЛИНЕЙНОГО
ГИДРОБИОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ (ГБТС)
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВОЛНЕНИЯ МОРЯ**

Предполагается, что хребтина линейного гидробиотехнического сооружения (ГБТС) при волнении моря под действием подъемной силы буйков, равномерно распределенной по длине хребтины, принимает форму цепной линии со стрелкой прогиба, равной высоте волны. С использованием уравнений цепной линии рассчитана величина хорды цепной линии, определена форма хребтины ГБТС при волнении моря 4, 5 и 6 баллов (при высоте волны соответственно 2,0 м, 3,5 и 6,0 м) и показано изменение координат концевых буйков для этих высот волны. С учетом измененных координат концевых буйков рассчитаны угол наклона и натяжение якорной оттяжки. По натяжению конечного участка цепной линии и натяжению якорной оттяжки определена величина силы сдвига якоря, которая направлена противоположно держащей силе якоря и при которой начинается сползание якоря в сторону ГБТС. Эти расчеты послужили основанием для разработки рекомендаций по применению якорного устройства грибовидной формы с держащей силой, превышающей силу сдвига.

Ключевые слова: линейное гидробиотехническое сооружение, хребтина ГБТС, подъемная сила буйков, волнение моря, высота волны, элементы цепной линии, натяжение конечного участка цепной линии, натяжение якорной оттяжки, держащая сила якоря, сила сдвига якоря.

DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-994-1007.

Kruchinin O.N., Mizyurkin M.A., Zakharov E.A. Change in shape of a linear hydrobiotechnical structure (HBTS) under influence of the sea waves // *Izv. TINRO*. — 2020. — Vol. 200, Iss. 4. — P. 994–1007.

In the rough sea, the ridge of linear hydrobiotechnical structure (HBTS) presumably takes a shape of catenary line under the buoys lifting force evenly distributed along its length, with the maximum deflection equal to the wave height. Using the catenary line equation, length of the chord is calculated for typical cases of the sea roughness of 4, 5 and 6 points (wave height of 2.0 m, 3.5 and 6.0 m, respectively) and shifts of the end buoys, angles of inclination and tensions of the anchor guy are determined for these cases that allows to estimate magnitude of

* Кручинин Олег Николаевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: oleg.kruchinin@tinro-center.ru; Мизюркин Михаил Алексеевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: promryb@tinro.ru; Захаров Егор Андреевич, заведующий сектором, e-mail: egor.zakharov@tinro-center.ru.

Kruchinin Oleg N., D.Tech., principal researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: oleg.kruchinin@tinro-center.ru; Mizyurkin Mikhail A., D.Tech., principal researcher, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: mizmih@mail.ru; Zakharov Egor A., head of section, Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia, e-mail: egor.zakharov@tinro-center.ru.

the anchor shear force, at which the anchor begins to slide. On the basis of these estimations, a mushroom-shaped anchor is recommended to use, which holding force exceeds the shear force.

Key words: linear hydrobiotechnical structure (HBTS), HBTS ridge, buoy lifting, sea roughness, wave height, catenary line, tension force, tension of anchor guy, anchor holding force, anchor shear force.

Введение

Форма и натяжение гибких элементов орудий лова и гидробиотехнических сооружений (ГБТС) под действием силы тяжести ваеров, кабелей, урезов или подъемной силы буйков, прикрепленных к хребтине ГБТС, определяются системой дифференциальных уравнений, которые решают численными методами Эйлера [Розенштейн, 2000, 2004] или Рунге-Кутты [Габрюк и др., 2010; Габрюк, 2011]. При этом гибкий элемент орудия лова или ГБТС принимает форму цепной линии [Баранов, 1969]. Однако в трудах, посвященных расчету и проектированию ГБТС, рассматриваются только нагрузки, возникающие при действии на элементы ГБТС гидродинамических сил течения воды [Стоценко, 1984; Семенов, Сеславинский, 2008], но не рассматривается изменение формы и натяжения гибких элементов ГБТС при волнении моря.

Известно, что уравнения для расчета цепной линии являются трансцендентными и решаются методом последовательных приближений (итерации). Существуют готовые таблицы [Баранов, 1969; Фридман, 1981; Розенштейн, 2000], в которых показаны заранее рассчитанные соотношения элементов цепной линии. Однако использование таких таблиц при автоматизированных расчетах весьма неудобно, так как в них не соблюдена подробность данных, пригодная для любых расчетов. Нами разработаны удобные для автоматизированных расчетов аналитические зависимости, являющиеся аппроксимацией соотношений элементов цепной линии [Кручинин, Кузнецов, 2012]. При этом соблюдено основное требование достаточно малой погрешности расчетов.

Целью настоящей статьи является расчет с применением теории цепной линии формы линейного ГБТС (плавающей гибкой линии, удерживаемой по концам на двух якорях) и натяжения якорных оттяжек под действием волнения моря, а также силы сдвига якоря, при которой начинается сползание якоря в сторону ГБТС. Расчеты послужили основанием для разработки рекомендаций по применению различных типов якорных устройств с держащей силой, превышающей силу сдвига якоря.

Материалы и методы

Объектом исследования в настоящей статье является линейное ГБТС, под которым понимается хребтина, растянутая на двух якорях и поддерживаемая на поверхности моря кухтылями (рис. 1). При этом к хребтине могут крепиться коллекторы для сбора и выращивания мидий или морского гребешка или поводцы с субстратом для выращивания ламинарии японской*.

Для расчетов условно приняли следующие исходные данные: длина хребтины $L_{XP} = 100$ м; количество буюв (кухтылей) $n_b = 21$ шт. (расстояние между буюми 5 м); глубина постановки якоря $H_0 = 10$ м; расстояние от якоря до проекции концевой бую ГБТС на линию дна $dX_j = 10$ м; длина якорной оттяжки $l_{0(исх)} = 14,14$ м; начальный угол наклона якорной оттяжки $\alpha_0 = 45^\circ$.

Из рис. 1 следует, что натяжение якорной оттяжки при разных углах ее наклона, при котором начинается сползание якоря в сторону ГБТС, вычисляется по формуле

$$T_0 = F_c / \cos \alpha_0. \quad (1)$$

При волнении моря линейное ГБТС под воздействием подъемной силы кухтылей, равномерно распределенных по длине хребтины, примет форму цепной линии (ц.л.)

* Гидробиотехнические сооружения (справочное пособие). Владивосток: ДВПИ, 1989. 108 с.

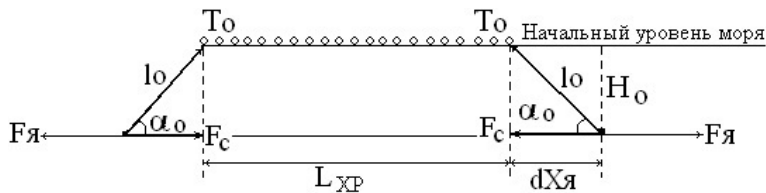


Рис. 1. Форма линейного ГБТС при отсутствии волнения моря: $L_{ХР}$ — длина хребтины ГБТС, м; H_0 — глубина постановки якоря, м; l_0 — длина якорной оттяжки, м; α_0 — угол наклона якорной оттяжки, град; T_0 — натяжение якорной оттяжки, кгс (Н); $F_я$ — держащая сила якоря, кгс (Н); F_c — сила сдвига якоря, при которой начинается сползание якоря в сторону ГБТС, кгс (Н)

Fig. 1. Shape of linear hydrobiotechnical structure (HBTS) in conditions of the calm sea: $L_{ХР}$ — length of HBTS ridge, m; H_0 — depth of anchoring, m; l_0 — length of anchor guy, m; α_0 — angle of inclination of anchor guy, deg.; T_0 — tension of anchor guy, kg (N); $F_я$ — holding force of anchor, kg (N); F_c — shear force of anchor, at which the anchor begins to slide, kg (N)

со стрелкой прогиба, равной высоте волны. Значения высоты волны при различном волнении моря приведены в табл. 1 [Габрюк, Кулагин, 2000].

Таблица 1
Волнение моря согласно балльной шкале и соответствующая высота волны
[по: Габрюк, Кулагин, 2000]

Table 1
Points of sea waves and corresponding wave height, m [from: Gabryuk, Kulagin, 2000]

Волнение моря, баллы	Высота волны, м	
	Минимум	Максимум
0	0	0
1	0	0,25
2	0,25	0,75
3	0,75	1,25
4	1,25	2,0
5	2,0	3,50
6	3,50	6,0
7	6,0	8,50
8	8,50	11,0
9	11,0	15,0

Для расчетов условно приняли волнение моря 4, 5 и 6 баллов и соответствующую высоту волны (стрелку прогиба) 2,0 м, 3,5 и 6,0 м.

Результаты и их обсуждение

Приняв держащую силу якоря за единицу и при условии, что сползание якоря начинается в момент, когда $F_c \geq F_я$, по формуле (1) рассчитали натяжение якорной оттяжки и сравнили это натяжение с держащей силой якоря (табл. 2).

Результаты расчета, представленные в табл. 2, указывают на один важный практический момент: якорь необходимо устанавливать как можно ближе к концевому бую хребтины, уменьшая тем самым силу сдвига при увеличении натяжения оттяжки вследствие волнового воздействия на ГБТС.

Определение формы хребтины ГБТС с применением теории цепной линии

Соотношение элементов цепной линии определено нами ранее [Кручинин, Кузнецов, 2012] в виде аппроксимационного уравнения:

$$L/S = 1 - 1,9296(f/S)^{0,5}, \tag{2}$$

где L — хорда цепной линии, м; S — длина цепной линии, м; f — стрелка прогиба цепной линии, м.

Таблица 2

Увеличение натяжения якорной оттяжки, при котором начинается сползание якоря в сторону ГБТС

Table 2

Tension of anchor guy, at which the anchor begins to slide

α_0 , град	α_0 , рад	$\cos \alpha_0$	$F_{я}$, усл. ед.	$T_0/F_{я}$, разы
0	0,000	1,000	1	1,00
10	0,175	0,985	1	1,02
20	0,349	0,940	1	1,06
30	0,524	0,866	1	1,16
40	0,698	0,766	1	1,30
50	0,873	0,643	1	1,56
60	1,047	0,500	1	2,00
70	1,222	0,342	1	2,92
80	1,396	0,174	1	5,76
85	1,484	0,087	1	11,47

Исходя из выражения (2), хорда цепной линии определяется как:

$$L = S[1 - 1,9296(f/S)66,6357^{(f/S - 0,5)}].$$
 (3)

В табл. 3 показаны рассчитанные по формуле (3) значения половины хорды цепной линии при различном волнении моря.

Таблица 3

Хорда цепной линии, рассчитанная по формуле (3), м

Table 3

Chord of catenary calculated using equation (3), m

Высота волны ($f_{ц.л.}$)	Хорда ц.л. ($L_{ц.л.}$)	Половина хорды ц.л. ($L_{ц.л.}/2$)
2,0	99,48	49,74
3,5	99,04	49,52
6,0	98,18	49,09

Известно, что элементы цепной линии определяются из трансцендентных уравнений, где не определен параметр цепной линии ($P_{ц.л.}$). Этот параметр можно найти из уравнения для расчета длины цепной линии при известных значениях длины цепной линии и ее хорды [Розенштейн, 2000]:

$$S_{ц.л.} = 2P_{ц.л.} sh(L_{ц.л.}/2P_{ц.л.}),$$
 (4)

где sh — гиперболический синус.

При решении уравнения (4) по найденным значениям хорды цепной линии (табл. 3) методом последовательных приближений (итерации) нашли такой параметр цепной линии, при котором длина цепной линии и длина хребтины ГБТС различаются незначительно. При этом различие оценивали величиной погрешности

$$\sigma_s = 100|(S_{ц.л.} - L_{хр})/L_{хр}|.$$
 (5)

Результат расчета параметра цепной линии, форму которой принимает хребтина ГБТС при волнении моря для принятых нами высот волн, показан в табл. 4.

Ничтожно малая величина погрешности σ_s , показанная в табл. 4, дает основание для применения найденных значений параметра цепной линии в дальнейших расчетах.

Разбив половину длины хребтины (S_i) (половина длины цепной линии) на 10 участков по 5 м, методом подбора находили такую координату $X_{i(расч)}$, при которой расчетное значение длины дуги $S_{i(расч)}$ с наименьшей погрешностью отличается от S_i . По найденным методом подбора значениям $X_{i(расч)}$ определили расчетные значения координат $Y_{i(расч)}$ и длины дуги $S_{i(расч)}$ (табл. 5).

Таблица 4

Результат расчета параметра цепной линии и погрешности расчета, м

Table 4

Results of the catenary parameter calculation, with errors estimation, m

Высота волны ($f_{ц.л.}$)	Длина хребтины $L_{хр}$	Длина ц.л. $S_{ц.л.}$	Параметр ц.л. ($P_{ц.л.}$)	Погрешность расчета (σ_s), %
2,0	50	50,05	130	0,09
3,5	50	50,01	102	0,02
6,0	50	50,02	73	0,04

Таблица 5

Расчет координат буюв, закрепленных на хребтине ГБТС, при волнении моря, м

Table 5

Calculation of the end buoys shifting in conditions of rough sea, m

Длина дуги ц.л. S_i	Координата $X_{i(расч)}$			Координата $Y_{i(расч)}$			Расчетное значение длины дуги $S_{i(расч)}$			Погрешность расчета σ_{Si} , %		
	Волна 2,0 м	Волна 3,5 м	Волна 6,0 м	Волна 2,0 м	Волна 3,5 м	Волна 6,0 м	Волна 2,0 м	Волна 3,5 м	Волна 6,0 м	Волна 2,0 м	Волна 3,5 м	Волна 6,0 м
0	0,00	0,00	0,00	12,00	13,50	16,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	5,00	5,00	5,00	11,98	13,46	15,93	5,00	5,00	5,00	0,01	0,00	0,04
10	9,99	9,99	9,98	11,92	13,35	15,73	10,00	10,00	10,01	0,01	0,05	0,10
15	14,92	14,93	14,91	11,82	13,17	15,41	14,96	14,99	15,01	0,30	0,10	0,10
20	19,90	19,89	19,78	11,67	12,91	14,95	19,97	20,02	20,02	0,13	0,10	0,10
25	24,87	24,78	24,56	11,49	12,59	14,38	25,02	25,02	25,02	0,09	0,10	0,10
30	29,77	29,55	29,24	11,26	12,20	13,70	30,03	29,97	30,03	0,10	0,10	0,10
35	34,56	34,31	33,81	11,01	11,74	12,91	34,96	34,96	35,03	0,10	0,10	0,10
40	39,43	39,08	38,26	10,70	11,22	12,02	40,04	40,04	40,04	0,10	0,10	0,10
45	44,19	43,70	42,59	10,37	10,64	11,04	45,04	45,04	45,04	0,10	0,10	0,10
50	48,89	48,23	46,71	10,00	10,00	10,00	50,05	50,05	49,96	0,10	0,10	0,08

Расчетные значения координаты $Y_{i(расч)}$ и длины дуги цепной линии $S_{i(расч)}$, приведенные в табл. 5, определяли по следующим формулам [Бронштейн, Семендяев, 1980]:

$$Y_{i(расч)} = P_{ц.л.} \cdot ch(X_i/P_{ц.л.}); \tag{6}$$

$$S_{i(расч)} = P_{ц.л.} \cdot sh(X_i/P_{ц.л.}). \tag{7}$$

Погрешность расчета длины дуги цепной линии рассчитывали по формуле, аналогичной формуле (5):

$$\sigma_{Si} = 100|(S_i - S_{i(расч)})/S_i|. \tag{8}$$

На рис. 2 показана форма цепной линии, которую принимает хребтина ГБТС при волнении моря 4, 5 и 6 баллов.

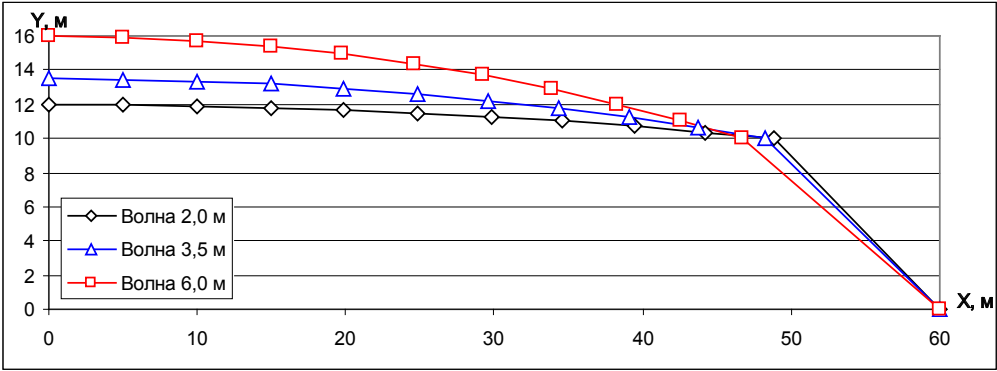


Рис. 2. Форма хребтины ГБТС на волне без учета заглубления концевго буюа
Fig. 2. Shape of HBTs ridge on wave calculated without account of the end buoy depth

Из данных табл. 5 видно, что значение половины хорды цепной линии, которое определяет координату концевой буя хребтины ГБТС при волнении моря, меньше половины длины хребтины. За счет этого расчетная длина якорной оттяжки увеличивается, что заметно на рис. 2. Однако координаты установки якоря и длина якорной оттяжки при уменьшении начальной координаты концевой буя не должны изменяться. Поэтому логично предположить, что концевой буй при волнении моря движется по траектории окружности с радиусом l_0 , при этом он заглубляется относительно начального уровня моря. Схема для расчета изменения координат концевой буя и его заглубления показана на рис. 3, где $X_я$ — координата установки якоря, м; X_0, Y_0 — координаты концевой буя хребтины ГБТС при отсутствии волнения моря, м; X_B, Y_B — координаты концевой буя хребтины ГБТС при волнении моря, м; α_0 — угол наклона якорной оттяжки при отсутствии волнения моря, град; α_B — угол наклона якорной оттяжки при волнении моря, град; dY_0 — заглубление концевой буя хребтины ГБТС относительно начального уровня при волнении моря, м.

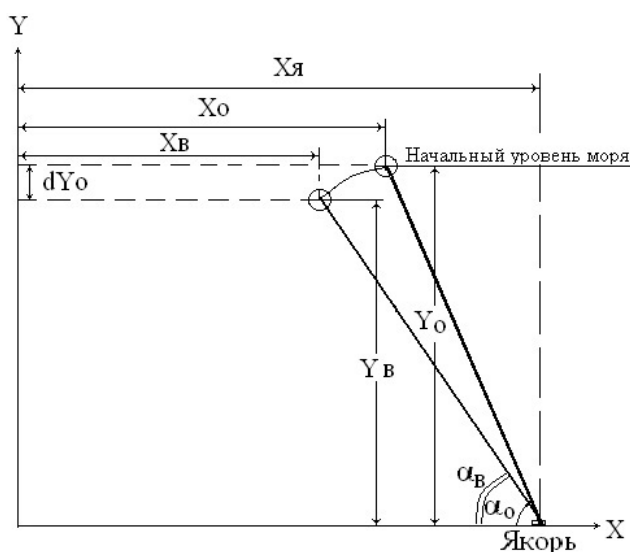


Рис. 3. Изменение координат концевой буя хребтины ГБТС при волнении моря
Fig. 3. Shift of the end buoy in conditions of rough sea

Величину заглубления концевой буя, исходя из траектории его движения по окружности с радиусом l_0 (рис. 3), рассчитали таким образом:

$$dY_0 = \sqrt{(l_0)^2 - (X_я - X_0)^2} - \sqrt{(l_0)^2 - (X_я - X_B)^2}. \quad (9)$$

Координаты концевой буя ГБТС (X_B, Y_B), а также углы наклона якорной оттяжки и концевой участка цепной линии (от буя № 20 до буя № 21) при волновом воздействии можно вычислить по формулам:

$$\begin{aligned} X_B &= L_{ц.л.}/2, \\ Y_B &= H_0 - dY_0, \\ \alpha_B &= \arctg\left(\frac{Y_B}{X_я - X_B}\right), \\ \alpha_{ц.л.} &= \arctg\left(\frac{Y_{20} - Y_B}{X_B - X_{20}}\right). \end{aligned} \quad (10)$$

Результаты расчета по формулам (9) и (10) приведены в табл. 6 и 7.

Данные, приведенные в табл. 6 и 7, показывают, что с увеличением высоты волны уменьшается угол наклона α_B якорной оттяжки и увеличивается угол наклона $\alpha_{ц.л.}$ последнего участка хребтины ГБТС (от буя № 20 до буя № 21). Правильность определения

Таблица 6

Координаты концевой буя ГБТС и углы наклона якорной оттяжки при волнении моря, м

Table 6

Coordinates of the end buoys and angles of anchor guy inclination, by wave heights, m

Высота волны	$X_я$	X_0	H_0	X_B	Y_B	dY_0	α_B , град
2,0	60	50	10	48,89	8,75	1,25	38,2
3,5	60	50	10	48,23	7,84	2,16	33,7
6,0	60	50	10	46,71	4,82	5,18	19,9

Таблица 7

Координаты предпоследнего буя ГБТС (буй № 20) и углы наклона концевой участка цепной линии, м

Table 7

Coordinates of the penultimate buoy (buoy № 20) and angles of the ridge end section inclination, by wave heights, m

Параметры	Высота волны		
	2,0	3,5	6,0
X_{20}	44,19	43,70	42,59
Y_{20}	9,12	8,48	5,86
X_B	48,89	48,24	46,71
Y_B	8,75	7,84	4,82
$(X_B - X_{20})$	4,70	4,54	4,12
$(Y_{20} - Y_B)$	0,37	0,64	1,04
$\alpha_{ц.л.}$, град	4,50	7,99	14,17

величины заглубления концевой буя и его координат при волнении моря проверили путем сравнения исходной длины якорной оттяжки и ее длины, рассчитанной по формуле, учитывающей координаты якоря и концевой буя:

$$l_{0(расч)} = \sqrt{(X_я - X_B)^2 + (H_0 - dY_0)^2}. \tag{11}$$

Результаты сравнения исходной длины якорной оттяжки ($l_{0(исх)}$) и ее длины, рассчитанной по формуле (11), приведены в табл. 8. Данные расчета длины якорной оттяжки $l_{0(расч)}$, приведенные в табл. 8, полностью совпадают с ее исходной длиной $l_{0(исх)}$, что может служить подтверждением адекватности принятой методики расчета изменения координат буюв (кухтылей) при волнении моря.

Таблица 8

Сравнение исходной длины якорной оттяжки и ее длины при волнении моря, м

Table 8

Comparison of the anchor guy length in conditions of calm and rough seas, m

Параметры для расчета по формуле (11)	Высота волны		
	2,0	3,5	6,0
$X_я$	60	60	60
$Y_я$	0	0	0
X_B	48,89	48,23	46,70
H_0	10	10	10
dY_0	1,25	2,16	5,18
$X_я - X_B$	11,11	11,77	13,29
$H_0 - dY_0$	8,75	7,84	4,82
$l_{0(расч)}$	14,14214	14,14214	14,14214
$l_{0(исх)}$	14,14214	14,14214	14,14214

Используя уравнения цепной линии, с учетом данных табл. 6 нашли форму хребтины ГБТС с якорными оттяжками при волнении моря 4, 5 и 6 баллов (рис. 4).

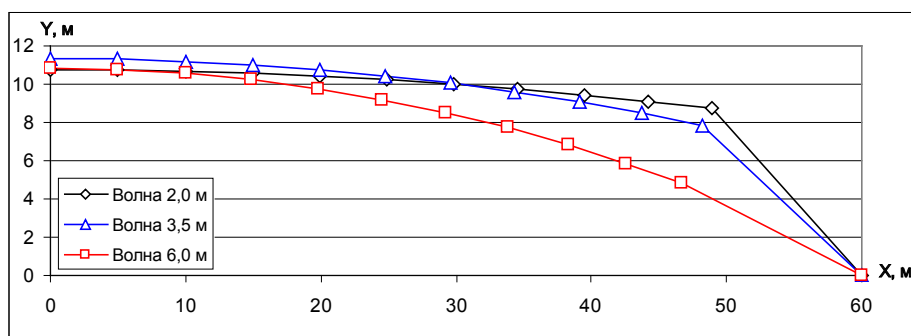


Рис. 4. Форма хребтины ГБТС на волне с учетом заглубления концевого буя

Fig. 4. Shape of HBTS ridge in conditions of rough sea calculated with account of the end buoy depth

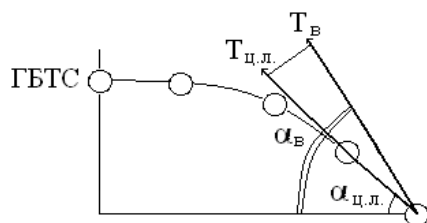
Отметим, что при построении графиков на рис. 4 координаты $Y_{i(расч)}$, приведенные в табл. 5, скорректированы в сторону уменьшения на величину dY_0 заглубления последнего буя, приведенную в табл. 6. Такая корректировка необходима для сохранения неизменной длины дуги цепной линии, равной расстоянию между буями и рассчитываемой по формуле (7).

Определение натяжения якорной оттяжки ГБТС с применением теории цепной линии

Для расчета натяжения якорной оттяжки при волнении моря рассмотрим схему на рис. 5: α_B — угол наклона якорной оттяжки при волнении моря, град; T_B — натяжение якорной оттяжки при волнении моря, кгс (Н); $\alpha_{ц.л.}$ — угол наклона последнего участка хребтины ГБТС (от буя № 20 до буя № 21), град; $T_{ц.л.}$ — натяжение последнего участка хребтины ГБТС (от буя № 20 до буя № 21), кгс (Н).

Рис. 5. К расчету натяжения якорной оттяжки при волнении моря

Fig. 5. To calculation of the anchor guy tension in conditions of rough sea



Исходя из схемы, представленной на рис. 5, натяжение якорной оттяжки определится из выражения

$$T_B = T_{ц.л.} \cos(\alpha_B - \alpha_{ц.л.}), \quad (12)$$

где натяжение последнего участка хребтины, принимающей форму цепной линии, находится из выражения [Розенштейн, 2000]

$$T_{ц.л.} = (q_B n_B) / 2(S_1 / 4f + f / S_1), \quad (13)$$

где q_B — подъемная сила одного буя, кгс; n_B — количество буйев на хребтине; S_1 — половина длины цепной линии, м; вычисляется по формуле (7).

Заменяя в формуле (1) начальное натяжение (T_0) якорной оттяжки и ее угол наклона (α_0) на натяжение и угол наклона при волнении моря (T_B , α_B), получим формулу для вычисления силы, направленной на сползание якоря в сторону ГБТС:

$$F_C = T_B \cos \alpha_B. \quad (14)$$

Подъемная сила кухтылей различных типов приводится в Справочнике по сетеснастным материалам и промысловому вооружению [1989]*. Для расчета натяжения

* Справочник по сетеснастным материалам и промысловому вооружению. Владивосток: НПО «Дальрыбтехцентр», 1989. 211 с.

якорной оттяжки приняли, что хребтина оснащена кухтылями типа ПА 35,3-1000 диаметром 240 мм с подъемной силой 35,3 Н (3,6 кгс) или кухтылями типа ПГ 105-150 диаметром 300 мм с подъемной силой 105 Н (10,7 кгс). Результаты расчета натяжения якорной оттяжки при использовании этих типов буюв (кухтылей) представлены в табл. 9, где также показаны сила, направленная на сползание якоря в сторону ГБТС, и минимальная держащая сила якоря, предотвращающая это сползание.

Таблица 9
Натяжение якорной оттяжки и сила, направленная на сползание якоря в сторону ГБТС
Table 9

Tension of the anchor guy and the force toward sliding of anchor								
Волна, баллы	$f_{ц.л.},$ м	$T_{ц.л.},$ кгс	$\alpha_{ц.л.},$ град	$\alpha_B,$ град	$(\alpha_B - \alpha_{ц.л.}),$ град	$T_B,$ кгс	$F_C,$ кгс	$F_{я} > F_C,$ кгс
При оснащении хребтины ГБТС кухтылями типа ПА 35,3-1000								
4	2,0	238,0	4,5	38,2	33,7	197,9	155,5	160
5	3,5	137,8	8,0	33,7	25,7	124,2	103,3	110
6	6,0	83,2	14,2	19,9	5,7	82,8	77,8	80
При оснащении хребтины ГБТС кухтылями типа ПГ 105-150								
4	2,0	707,4	4,5	38,2	33,7	588,4	462,2	470
5	3,5	409,5	8,0	33,7	25,7	369,0	307,0	310
6	6,0	247,4	14,2	19,9	5,7	246,1	231,4	240

Выбор конструкции якорей для применения на линейном ГБТС

С целью выбора конструкции якоря, отвечающей требованию необходимой держащей силы, предотвращающей сползание якоря в сторону ГБТС, рассмотрим различные типы якорей. Якоря для постановки ГБТС могут быть металлическими или бетонными, называемыми «массивами». Они применяются в зависимости от различных грунтов установки, при этом имеют разные удерживающие силы, которые обеспечиваются их массой и конструкцией. Бетонные якоря (массивы) в мировой марикультуре получили широкое распространение. Основными параметрами массива являются его масса, удерживающая способность и надежный рым. Согласно европейскому опыту выращивания мидий вне защищенных акваторий? для надежного удержания носителей необходимо использовать массивы массой минимум 5 т. При постановке поверхностных носителей в бухтах, заливах, лагунах берут массивы массой 3 т и меньше. Удерживающая способность массива зависит от его формы. Нельзя массив делать кубическим, так как он плохо сцепляется с дном и может опрокинуться, если усилие, прилагаемое к рыму, будет достаточно велико. Поэтому массивы изготавливают пирамидальной формы [Стоценко, 1984]. Среди них различают гравитационные якоря, конструкция которых предполагает наличие лап на нижнем основании пирамиды, и пирамидальные — без лап (рис. 6).

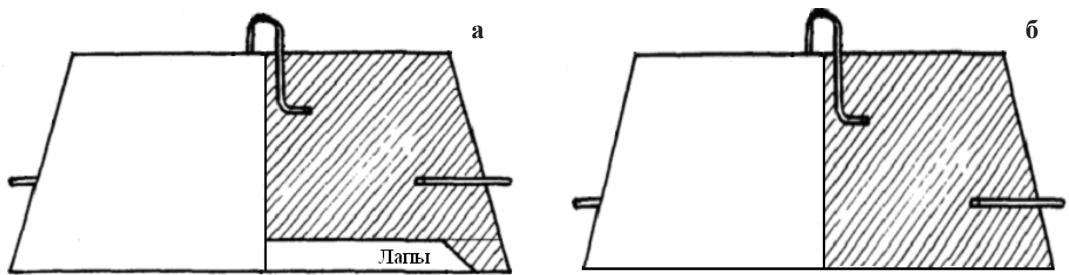


Рис. 6. Конструкции бетонных якорей: а — гравитационный (с лапами); б — пирамидальный (без лап)
Fig. 6. Concrete anchor structures: а — gravitational (with paws); б — pyramidal (without paws)

Характеристики бетонных якорей, выбранные из справочного пособия*, приведены в табл. 10.

Таблица 10

Характеристики бетонных якорей*

Table 10

Characteristics of concrete anchors*

Тип якоря	Проект	Масса, кг	Держащая сила		Коэффициент держательной силы
			Н	кгс	
Гравитационный	351.01 ПЭБ	2088	12000	1225	0,587
Гравитационный	676.01 ПЭБ	321	2000	204	0,636
Гравитационный	923.01 ПЭБ	2076	12000	1225	0,590
Гравитационный	664.00 ПЭБ	1234	7250	740	0,600
Гравитационный	669.00 ПЭБ	804	4700	480	0,597
Гравитационный	1082.00 ПЭБ	2112	12400	1265	0,599
Пирамидальный	999.01 ПЭБ	453	2205	225	0,497
Пирамидальный	1057.01 ПЭБ	290	1420	145	0,500

По данным табл. 9 с учетом данных табл. 10 находим, что при оснащении хребтины ГБТС кухтылями типа ПА 35,3-1000 достаточно будет использование бетонного пирамидального якоря конструкции 999.01 ПЭБ массой 453 кг и держащей силой 225 кгс. При оснащении хребтины кухтылями типа ПГ 105-150 необходимо использовать гравитационный якорь конструкции 669.00 ПЭБ массой 804 кг и держащей силой 480 кгс.

Учитывая высокую текучесть песчано-илистых грунтов, из распространенных типов якорей для таких грунтов предлагается якорь грибовидной формы [Пат. РФ № 137012]. При этом для исключения метода литья в процессе изготовления деталей якоря разработан и спроектирован грибовидный якорь сварной конструкции, что позволило применять только стандартный стальной прокат. Техническая модель и чертеж грибовидного якоря показаны на рис. 7.



Рис. 7. Техническая модель (а) и чертеж (б) грибовидного якоря

Fig. 7. Technical model (a) and design (b) of mushroom-shaped anchor

Экспериментальные работы, проведенные нами ранее [Еремин и др., 2014] на порядке креветочных ловушек при неблагоприятных погодных условиях (сила ветра до 12 м/с и высота волны до 2 м), показали, что чугунная болванка (пикуль) массой 70 кг обладает меньшей держащей силой, чем грибовидный якорь массой 38 кг, который практически предотвращает перемещение по грунту ловушечного порядка. Объясняется это тем, что держащая сила пикулей, к которым можно отнести бетонные якоря пирамидальной формы и также мешки с песком, применяемые в настоящее время на ГБТС, определяется силой трения, рассчитываемой по формуле

$$F_{\pi} = q_{\pi} k_{\pi} \quad (14)$$

где q_{π} — сила тяжести (вес) пикуля в воде, кгс; k_{π} — коэффициент держащей силы пикуля, численно равный коэффициенту трения f (безразмерная величина).

* Гидробиотехнические сооружения... [1989].

Держащая сила грибовидного якоря определяется по формуле

$$F_{\text{я}} = q_{\text{я}} k_{\text{я}} \tag{15}$$

где $q_{\text{я}}$ — сила тяжести (вес) якоря в воздухе, кгс; $k_{\text{я}}$ — коэффициент держащей силы якоря (безразмерная величина). Для грибовидных якорей величина этого коэффициента следующая: грунт песчаный –1,6; грунт илистый –2,0.

Принимая потерю веса в воде для чугуна 0,86, несложным расчетом по формулам (14) и (15) получаем следующие величины держащей силы для пикуля (чугунной болванки) и грибовидного якоря на илистых грунтах: $F_{\text{п}} = 36$ кгс; $F_{\text{я}} = 76$ кгс. Таким образом, при весе якоря в 1,8 раза меньше, чем вес пикуля, его держащая сила оказывается в 2,1 раза больше.

Для подтверждения этого теоретического вывода провели сравнительные измерения держащей силы грибовидного якоря массой 38 кг и пикуля (мешка с песком) — 80 кг. Держащая сила измерялась с помощью динамометра ДПУ-0.5-2 УХЛ 4.2 с ценой деления 50 Н. При этом береговой конец оттяжки с динамометром подсоединялся к ручной лебедке, а пикуль и якорь поочередно опускали на илисто-песчаный грунт на глубину около 10 м. Измерения производили с длиной оттяжки 80 м, 90 и 100 м. Держащую силу фиксировали по максимальному показанию динамометра в момент подрыва пикуля и якоря от дна (табл. 11).

Таблица 11

Показания динамометра при измерении держащей силы пикуля (мешка с песком) и грибовидного якоря

Table 11

Dynamometer readings when measuring of holding force for pick (sandbag) and mushroom-shaped anchor

Длина оттяжки, м	Глубина, м	Показания динамометра (пикуль), Н	Показания динамометра (якорь), Н	Отношения держащей силы якоря к держащей силе пикуля
80	10	300	600	2,0
90	10	350	650	1,9
100	10	400	700	1,8

Данные измерений (табл. 11) выявили, что грибовидный якорь массой в 2,1 раза меньше массы пикуля (мешка с песком) показал держащую силу, в среднем в 1,9 раза превышающую держащую силу пикуля. Отметим, что результаты этих измерений не противоречат расчетным данным.

Заключение

Таким образом, с применением теории цепной линии нами разработана методика расчета изменения формы хребтины и натяжения якорной оттяжки ГБТС линейного типа при воздействии волнения моря. При этом показано, что концевой буй (кухтыль) хребтины при волнении заглубляется относительно начального уровня моря.

По натяжению якорной оттяжки для двух типов кухтылей ПА 35,3-1000 и ПГ 105-150 определена сила, направленная на сползание якоря в сторону ГБТС, значения которой послужили для определения необходимой держащей силы якоря.

Рассмотрены конструкции бетонных якорей и якоря грибовидной формы. Определено, что при оснащении хребтины кухтылями ПА 35,3-1000 достаточно будет использование бетонного пирамидального якоря конструкции 999.01 ПЭБ массой 453 кг и держащей силой 225 кгс. При оснащении хребтины кухтылями типа ПГ 105-150 необходимо использовать гравитационный якорь конструкции 669.00 ПЭБ массой 804 кг и держащей силой 480 кгс. Как видим, небольшой коэффициент держащей силы бетонных якорей на песчано-илистых грунтах, составляющий 0,5–0,6, заставляет использовать бетонные якоря большой массы: от 450 до 804 кг.

Коэффициент держащей силы грибовидного якоря на песчано-илистых грунтах в среднем составляет 1,8. Это в 3,0–3,6 раза больше коэффициентов держащей силы бетонных якорей. Таким образом, для создания держащей силы, сравнимой с держащей силой бетонного якоря, достаточно грибовидного якоря массой в 3,0–3,6 раза меньше. Этот результат может указывать на целесообразность использования грибовидного якоря для повышения штормоустойчивости ГБТС.

Благодарности

Авторы благодарны к.б.н. В.Д. Дзизюрову за представленные материалы (справочное пособие по конструктивным элементам ГБТС), которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

Финансирование работы

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственной работы «Осуществление государственного мониторинга водных биологических ресурсов во внутренних водах, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации и в исключительной экономической зоне Российской Федерации, в Азовском и Каспийском морях (раздел 2 государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» № 076-00005-19-00)», подтема 2.4.7.14 «Оценка состояния, распределения, численности и воспроизводства водных биоресурсов и среды их обитания».

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Соблюдение этических стандартов

Авторы заявляют, что данный обзор литературы не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки на все использованные в обзоре данные других авторов оформлены в соответствии с ГОСТом.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Информация о вкладе авторов

О.Н. Кручинин с помощью теории цепной линии разработал методику определения формы хребтины ГБТС.

М.А. Мизюркин разработал методику и получил материалы экспериментальных работ с применением грибовидного якоря на порядке креветочных ловушек при неблагоприятных погодных условиях.

Е.А. Захаров разработал методику и получил материалы экспериментальных работ по определению держащей силы пикуля (мешка с песком) и грибовидного якоря.

Дополнительные материалы

Цветная версия иллюстраций «Форма хребтины ГБТС на волне без учета заглубления концевой буя», «Форма хребтины ГБТС на волне с учетом заглубления концевой буя» (файл Microsoft®Office Excel).

Дополнительная информация

Экспериментальные данные, полученные при проведении экспериментальных работ, могут быть предоставлены авторами по запросу.

Список литературы

Баранов Ф.И. Избранные труды : В 4 т. — М. : Пищ. пром-сть, 1969. — Т. 1 : Техника промышленного рыболовства : моногр. — 720 с.

- Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. — 12-е изд., исправленное. — М. : Наука, 1980. — 976 с.
- Габрюк В.И.** Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах, компьютерных программах : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2011. — 517 с.
- Габрюк В.И., Кулагин В.Д.** Механика орудий рыболовства и АРМ промысловика : моногр. — М. : Колос, 2000. — 416 с.
- Габрюк В.И., Чернецов В.В., Бойцов А.Н.** Проектирование ярусных, ловушечных и траловых рыболовных систем : моногр. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2010. — 411 с.
- Еремин Ю.В., Бурлаков Д.Б., Бурлакова Н.Н. и др.** Якорная система для установки орудий лова на слабых грунтах // Изв. ТИНРО. — 2014. — Т. 177. — С. 268–274.
- Кручинин О.Н., Кузнецов Ю.А.** Аппроксимационные уравнения цепной линии для расчета гибких элементов орудий лова // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 169. — С. 176–190.
- Пат. РФ № 137012.** МПК А01К 79/00. Якорь промысловый / Ю.В. Еремин, Д.Б. Бурлаков, Н.Н. Бурлакова и др. — Заявл. 03.10.2013; Опубл. 27.01.2014; Бюл. № 3.
- Розенштейн М.М.** Задачник по механике орудий рыболовства : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 561000 — «Рыболовство» и специальности 311800 — Пром. рыболовство. — Калининград : КГТУ, 2004. — 188 с.
- Розенштейн М.М.** Механика орудий рыболовства : учеб. — Калининград : КГТУ, 2000. — 363 с.
- Семененко В.И., Сеславинский В.И.** Проектирование орудий прибрежного рыболовства и гидrobiотехнических сооружений марикультуры : учеб. пособие. — Владивосток : Дальрыбвтуз, 2008. — 106 с.
- Стоценко А.А.** Гидrobiотехнические сооружения : моногр. — Владивосток : ДВГУ, 1984. — 136 с.
- Фридман А.Л.** Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства : учеб. — 2-е изд., перераб и доп. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. — 328 с.

References

- Baranov, F.I.,** Selected Works of T. 1. Technique of industrial fishing. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1969.
- Bronshtein, I.N. and Semendyaev, K.A.,** *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vtuzov* (A guide to mathematics for engineers and students of technical colleges), 12th ed., revised, Moscow: Nauka, 1980.
- Gabryuk, V.I.,** *Mekhanika orudii rybolovstva v matematicheskikh modelyakh, algoritmakh, komp'yuternykh programmakh* (Mechanics of Fishing Gear in Mathematical Models, Algorithms, and Computer Programs), Vladivostok: Dal'rybvvtuz, 2011.
- Gabryuk, V.I. and Kulagin, V.D.,** *Mekhanika orudiy rybolovstva i ARM promyslovika* (Mechanics of fishing tools and fisherman's workstation), Moscow: Kolos, 2000.
- Gabryuk, V.I., Chernetsov, V.V., and Boytsov, A.N.,** *Proyektirovaniye yarusnykh, lovushechnykh i tralovykh rybolovnykh sistem* (Design of longline, trap and trawl fishing systems), Vladivostok: Dal'rybvvtuz, 2010.
- Eremin, Yu.V., Burlakov, D.B., Burlakova, N.N., Mizyurkin, M.A., and Kruchinin, O.N.,** Anchor system for installation of fishing gears on soft grounds, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2014, vol. 177, pp. 268–274.
- Kruchinin, O.N. and Kuznetsov, Yu.A.,** Approximate equations of the catenary for calculation of flexible elements for fishing gear, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2012, vol. 169, pp. 176–190.
- Eremin, Yu.V., Burlakov, D.B., Burlakova, N.N., Mizyurkin, M.A., and Kruchinin, O.N.,** Patent RU 137012, IPC A01K 79/00, Fishing anchor, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2014, no. 3.
- Rozenshtein, M.M.,** *Zadachnik po mekhanike orudiy rybolovstva: ucheb. posobiye dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po napravleniyu 561000 — "Rybolovstvo" i spetsial'nosti 311800 — Prom. rybolovstvo.* (Problem book on the mechanics of fishing tools: textbook. manual for university students studying in the direction of 561000 — "Fishing" and specialty 311800 — Industrial. fishing), Kaliningrad: KGTU, 2004.
- Rozenshtein, M.M.,** *Mekhanika orudiy rybolovstva* (Mechanics of fishing gear), Kaliningrad: KSTU, 2000.

Semenenko, V.I. and Seslavinsky, V.I., *Proyektirovaniye orudiy pribrezhnogo rybolovstva i gidrobiotekhnicheskikh sooruzheniy marikul'tury* (Design of tools for coastal fishing and hydrobiotechnical structures of mariculture), Vladivostok: Dal'rybvuz, 2008.

Stotsenko, A.A., *Gidrobiotekhnicheskiye sooruzheniya* (Hydrobiotechnical Constructions), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 1984.

Friedman, A.L., *Teoriya i proyektirovaniye orudiy promyshlennogo rybolovstva* (Theory and design of commercial fishing gear), 2nd ed., revised and add., Moscow: Legkaya i Pishchevaya Promyshlennost', 1981.

Gidrobiotekhnicheskiye sooruzheniya (spravochnoye posobiye) (Hydrobiotechnical structures (reference manual)). Vladivostock: DVPI, 1989.

Spravochnik po setesnastnym materialam i promyslovomu vooruzheniyu (Handbook of network equipment and fishing equipment), Vladivostok: NPO «Dal'rybtekhtsentr», 1989.

Поступила в редакцию 24.09.2020 г.

После доработки 13.10.2020 г.

Принята к публикации 3.12.2020 г.